

УДК 621.793

## ТЕХНОЛОГИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ ХОДОВЫХ СОПРЯЖЕНИЙ ПУТЕВОЙ ТЕХНИКИ

**К.Е. БЕЛЯВИН**

*Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь*

**М.А. БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ, И.А. СОСНОВСКИЙ, А.А. КУРИЛЁНОК**  
*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
Минск, Беларусь*

*Рассмотрена технология центробежной индукционной наплавки порошковых покрытий на детали ходовых сопряжений путевой техники с использованием результатов теоретических исследований процесса проплавления порошковых слоев при индукционном нагреве.*

На предприятиях железнодорожного транспорта РБ используется широкая номенклатура деталей машин и устройств, которые содержат в своем исполнении узлы трения триботехнического назначения, работающие в режиме интенсивного абразивного изнашивания.

К таким узлам трения относятся, например, детали ходовых сопряжений рабочих органов путевых машин высшего класса сложности, предназначенных для выправки, подбивки, отделки пути и очистки щебня (втулки подбивочных блоков, гайки подъема электромагнитов машин типа ВПР и ВПО и др.).

Задачей исследований, проведенных в данной работе, является повышение работоспособности и срока службы антифрикционных изделий ходовых сопряжений рабочих органов путевой техники. Решение этой задачи осуществлялось путем разработки новой высокоэффективной технологии индукционной наплавки порошковых покрытий с использованием результатов теоретических исследований процесса проплавления порошковых слоев при индукционном нагреве.

Одним из эффективных способов формирования порошковых покрытий в холодном и горячем состоянии непосредственно во внутренней полости стальной заготовки-матрицы является центробежная индукционная наплавка [1-2]. Известно, что в основе индукционной центробежной

наплавки порошковых слоев лежит технологическая схема, позволяющая реализовать следующую последовательность нанесения слоев порошковых покрытий. Сначала, с помощью индукционных токов, происходит разогрев вращающейся стальной цилиндрической заготовки до температур возможного фазового перехода из твердого в жидкое состояние материала частиц порошка. Затем в результате изотермической выдержки и теплообмена между разогретой внутренней поверхностью стальной цилиндрической заготовки и прижимаемого к ней центробежными силами порошка происходит послойное его расплавление с образованием после кристаллизации и охлаждения порошковых покрытий. Такая последовательность процесса нанесения порошковых слоев позволяет полагать, что технологические режимы индукционной центробежной наплавки определяются такими технологическими параметрами, как длительность процесса, мощность и частота электромагнитного излучения индуктора, а также линейными размерами стальной цилиндрической заготовки, мощностью создаваемого на ее поверхности теплового источника, удельным сопротивлением, плотностью и теплопроводностью стали.

В результате наших исследований установлено, что распределение температуры в расплавленной зоне будет определяться зависимостью:

$$T_1(r, \tau) = - \frac{b\tau \ln \frac{r}{\eta} + (T_{nl} + b\tau) \ln \frac{\eta}{R} - T_{nl} \ln \frac{R}{\eta}}{\ln \frac{R}{\eta}}, \quad (1)$$

где:  $T_1$  – температуры жидкой фазы (расплава), К;  
 $T_{nl}$  – температура плавления присадочного материала, К;  
 $r$  – текущая координата, м;  
 $R$  – радиус внутренней поверхности заготовки, м;  
 $\eta$  – расстояние от оси вращения до границы плавления, м;  
 $\tau$  – время, с;  
 $b$  – темп нагрева, К/с.

На основании полученной зависимости (1) и уравнения теплопроводности можно получить дифференциальную зависимость:

$$-\lambda_1 \frac{b\tau}{\eta \ln \frac{R}{\eta}} = \rho\gamma \frac{d\eta}{d\tau}, \quad (2)$$

где:  $\lambda_1$  – коэффициент теплопроводности жидкой фазы, Вт/м·К;  
 $\gamma$  – удельная теплота плавления присадочного материала, дж/кг;  
 $\rho$  – плотность присадочного материала, кг/м<sup>3</sup>.

Отсюда получим трансцендентное алгебраическое уравнение:

$$\eta^2 \ln \frac{R}{\eta} - \frac{1}{2}(R^2 - \eta^2) = -\frac{\lambda_1 b}{\rho \gamma} \tau^2, \quad (3)$$

которое определяет зависимость между координатой фронта плавления  $\eta$  и временем  $\tau$ .

Для проплавленного порошкового слоя при  $\eta = R_0$  решение (2) примет вид:

$$\tau = \frac{\rho \gamma_2}{b \lambda_1} \left[ \frac{1}{2}(R^2 - R_0^2) - R_0^2 \ln \frac{R}{R_0} \right], \quad (4)$$

где  $R_0$  – наружный диаметр заготовки, м.

Вышеизложенная модель устанавливает связь между технологическими параметрами индукционного нагрева и динамикой перехода из твердого состояния в жидкофазное состояние порошкового слоя на основании модельных допущений Лейбензона и Лыкова.

Проведенные исследования использованы при разработке технологического процесса и оборудования (рисунок 1) для изготовления двухслойных антифрикционных изделий (биметаллических втулок подбивочных блоков и гаек подъема электромагнитов путевых машин ВПР и ВПО) центробежным индукционным методом с использованием разработанных составов антифрикционных композиционных порошковых смесей повышенной износостойкости.

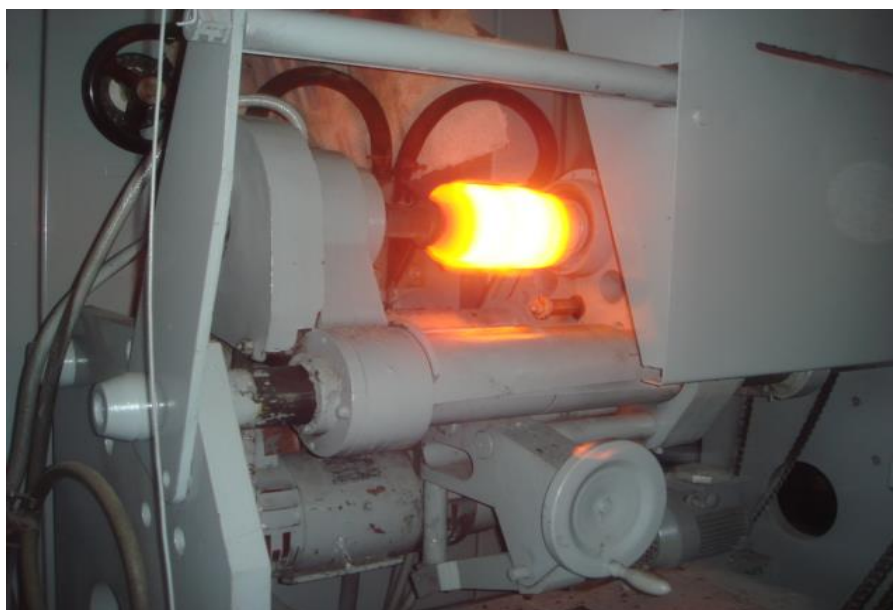


Рисунок 1. – Процесс изготовления двухслойного антифрикционного изделия (биметаллической втулки подбивочного блока выправочно-подбивочно-рихтовочной машины ВПР)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белявин, К.Е. Индукционный нагрев в процессах центробежного нанесения покрытий / К.Е. Белявин, И.А. Сосновский, А.Л. Худолей. – Минск: // Вестник фонда фундаментальных исследований, 2013. – № 3 (36) – С. 70–87.
2. Sosnovskiy, I.A. Induction centrifugal surfacing of the charge based on tin bronze powders with the addition of finely dispersed boehmite / I.A. Sosnovskiy, A.A. Kurilenok, M.A. Belotserkovskiy, O.O. Kuznechik // Welding International, Vol.30, № 9, 2016. – P. 736-739.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО НАУКЕ И ТЕХНОЛОГИЯМ  
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ОАО «НПО «ЦЕНТР  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК  
ПОЛОЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

## **Инновационные технологии в машиностроении**

Электронный сборник материалов международной  
научно-технической конференции,  
посвященной 50-летию машиностроительных специальностей  
и 15-летию научно-технологического парка  
Полоцкого государственного университета  
(Новополоцк, 21-22 апреля 2020 г.)



Под редакцией  
чл.-корр. НАН Беларуси, д-ра техн. наук, проф. В. К. Шелега;  
д-ра техн. наук, проф. Н. Н. Попок

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2020

УДК 621(082)

*Редакционная коллегия:*

Н. Н. Попок (председатель), В. П. Иванов (зам. председателя),  
Р. С. Хмельницкий (отв. Секретарь), А.В. Дудан, В. А. Данилов, Е.В. Бритик

***Инновационные технологии в машиностроении*** [Электронный ресурс] : электронный сборник материалов международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию машиностроительных специальностей и 15-летию научно-технологического парка Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 21-22 апр. 2020 г. / Полоц. гос. ун-т ; под. ред. В. К. Шелега; Н. Н. Попок. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-691-7.

Отражены современное состояние и направления развития технологии и оборудования механической и физико-технической обработки; рассмотрены вопросы создания современных материалов, изготовления, восстановления и упрочнения деталей машин, автоматизации производства, эксплуатации и модернизации автомобилей и других машин.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов технических специальностей учреждений образования.

Прилагаются [титulyные листы презентаций докладов](#) участников конференции.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3141815008 от 28.03.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь  
тел. 8 (0214) 59-95-53, e-mail: n.popok@psu.by

**№ госрегистрации 3141815008**

**ISBN 978-985-531-691-7**

© Полоцкий государственный университет, 2020

Для создания текстового электронного издания «Инновационный технологии в машиностроении» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

Компьютерный дизайн *Е. А. Балабуевой*  
Техническое редактирование и верстка *И. Н. Чапкевич*

---

Подписано к использованию 23.04.2020.  
Объем издания: 10,9 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 264.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>